

환경 및 응용기상 분과 [P-070]

합성 난류와 섭동 기법을 결합한 대기경계층 큰에디모사 유입 경계조건 개선

우주완¹, 이상현^{1,2}

¹공주대학교 대기과학과
²중부권 미세먼지연구관리센터

대기 경계층 (Atmospheric Boundary Layer, ABL)에서의 큰에디모사 (Large-Eddy Simulation, LES)는 유입 난류가 부족할 경우 난류 발달을 위해 긴 계산 영역이 필요하게 되어 계산 효율성과 정확성이 저하되는 문제가 발생한다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 디지털 필터 기반 합성 난류 생성기 (Synthetic Turbulence Generator, STG)와 셀 섭동 방안(Cell Perturbation Method, CPM)을 결합한 새로운 유입 난류 생성 방안을 제안한다. STG는 통계적으로 일관된 난류 유동을 제공하지만, 생성된 유동 구조는 비물리적인 특성을 가지며, 물리적으로 타당한 구조로 발전하기까지 긴 계산 거리가 요구된다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 CPM의 체적 부력 섭동을 적용하여 비물리적 합성 패턴을 빠르게 제거하고자 하였다. 이를 위해 PALM (Parallelized Large-Eddy Simulation Model) v6.0에 안정도 의존적 스케일링과 섭동 주기 제어 기능을 포함한 CPM을 모듈형으로 구현하였으며, MPI 병렬 프로그래밍 표준을 준수하여 PALM과의 연동성을 확보하였다. 성능 평가는 평탄 지형에서 불안정, 중립, 안정 조건을 대상으로 다섯 가지 실험군 (PER, NOT, STG, CPM, STG+CPM)을 구성하여 실험하였으며, 난류 구조, 에너지 스펙트럼, 난류 운동에너지 (Turbulent Kinetic Energy, TKE)를 중심으로 분석하였다. 그 결과 STG 또는 CPM 대비 STG+CPM는 합성 패턴 붕괴 및 물리적으로 일관된 와류 형성까지의 거리를 단축시켰으며, 저파수 영역에서의 빠른 스펙트럼의 수렴을 통해 난류 발달이 촉진됨을 확인하였다. 또한, STG+CPM에 의해 유도된 TKE는 STG와 CPM의 중간 수준으로 나타났다. 본 연구에서 제안하는 결합 기법은 유입 발달 거리를 줄임으로써 관심 영역에 계산 자원을 보다 효율적으로 할당할 수 있는 가능성을 제시하며, 도시 미규모 유동 및 확산 모의의 정확도 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: Large Eddy Simulation, Turbulent inflow, Synthetic Turbulence Generator, Cell Perturbation Method, PALM